

**Дубчак В. М.**

к.т.н., доцент

Пришляк В. М.

к.т.н., доцент

*Вінницький національний
аграрний університет***Dubchak V.**

Ph.D., Associate Professor

Pryshliak V.

Ph.D., Associate Professor

*Vinnitsia National Agrarian
University***УДК 631.3:519.711****DOI: 10.37128/2306-8744-2021-4-9****МОДЕЛЮВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
НАПОВНЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ
СТРУКТУР РОБОЧИХ ОРГАНІВ
БУНКЕРНОГО ТИПУ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
МАШИН МАТЕРІАЛАМИ
СФЕРИЧНОЇ ФОРМИ**

Оптимізація геометричних параметрів бункерів, живильників сільськогосподарських машин залежить від виду процесу, механіко-технологічних властивостей матеріалів, технологій виробництва. Сучасні ємкості бувають металевими, пластмасовими, скляними та ін. Зростаючі вимоги у конкурентному ринковому середовищі обумовлюють необхідність постійного вдосконалення існуючих і створення нових машин з оптимальними параметрами робочих органів. Різноманітні сільськогосподарські матеріали, такі як піщані ґрунти, зерно, мінеральні добрива, бульби, фрукти мають різні властивості силконості та взаємного переміщення часток у вигляді тіл сферичної форми. У статті викладено удосконалені теоретичні засади практичного спрямування оптимального заповнення контейнерів сільськогосподарськими матеріалами.

У результаті проведення досліджень з моделювання технологічних процесів наповнення робочих органів геометричних структур матеріалами сферичної форми, використання при цьому фундаментального аналітико-математичного апарату, розроблено алгоритмічну модель, що описує оптимальне заповнення простору, характерного для насіннєвих ящиків сівалок, бункерів збиральних комбайнів тощо. Розраховано максимальне заповнення заданої плоскої і об'ємної геометричної фігури множиною куль однакового радіуса, а саме, описано кількісну складову такого оптимального наповнення, а також сформовано критерій оцінки такого наповнення. Такі процеси відбуваються під час виробничого функціонування сівалок і саджалок, машин для збирання та післязбирального обробітку зерна, коренебульбоплодів, фруктів тощо.

Застосування алгоритму математичного аналізу та розрахунку технологічних процесів і технічних систем забезпечує створення необхідних умов для запобігання травмування насіння. Крім того, запропоновані інноваційні методи теоретичного аналізу та розрахунку процесів, а також явищ, які характерні для агропромислового виробництва, можуть ефективно і якісно застосовуватись у навчальному процесі під час підготовки фахівців до проектної діяльності.

Ключові слова: моделювання, технологічний процес, наповнення геометричних структур, робочі органи, матеріали сферичної форми.



Постановка проблеми. Вченими агропромислової галузі та інноваційно-налаштованими ініціативними сільгосптоваровиробниками за останні роки досліджено і науково обґрунтовано низку нових технологічних процесів і технічних засобів. Кожна технологія направлена на отримання максимального прибутку від агропромислового виробництва завдяки зниженню собівартості виробленої продукції та підвищенню її якості, збільшенню урожайності, зниженню затрат на перевезення та зберігання продукції. До основних факторів, які визначають ефективність використання сільськогосподарських машин, якість отриманої продукції, конкурентоспроможність виробництва, відносяться технологічні операції наповнення бункерів, сівалок чи садильних ящиків або кузовів машин для внесення та зберігання мінеральних гранульованих добрив, збирання та переробки зернобобових культур, коренебульбоплодів, фруктів, ягід та ін. Виконання більшості операцій забезпечено сучасними технічними засобами механізації, котрі спроектовані та розроблені на засадах потужного математичного апарату як фундаментальної основи теоретичних досліджень.

Важливо оптимізувати наповнення геометричних структур робочих органів бункерного типу сільськогосподарських машин матеріалами сферичної форми, а саме, насінням, бульбами, коренеплодами, плодами фруктових дерев, ягодами та іншим. Неefективне заповнення призводить до їх травмування та подальшого псування, зниження товарної якості продукції, цінності для споживачів тощо.

Безсумнівно, що інноваційний розвиток конкурентоспроможних агропромислових технологій і сільськогосподарської техніки можливий тільки з залученням потужного фізико-математичного апарату, що інколи є проблемним через нестачу фундаментальних теоретичних знань у проектувальників і конструкторів агроінженерного спрямування, незнання механіко-технологічних властивостей сільськогосподарських матеріалів, неefективного управління технологічними процесами у рослинництві [1].

Агропромисловий комплекс України включає понад 43 млн. га с.-г. земель. В Україні великі території відведено під промислове садівництво. Важливою, не вирішеною проблемою є збирання та перевезення яблук, особливо перевезення їх у контейнерах на велику відстань. Повнота, точність і рівномірність розподілу урожаю в контейнері залежить від багатьох факторів, у тому числі і

від ефективності алгоритму моделювання технологічних процесів наповнення геометричних структур робочих органів бункерного типу сільськогосподарських машин матеріалами сферичної форми. Це обумовлює підвищені вимоги до конструкції сільськогосподарської техніки з метою забезпечення виконання агротехнічних вимог до технологій точного землеробства задля підвищення якості вирощеної продукції.

Питання щодо оптимальності розміщень тих чи інших геометричних об'єктів (структур) відносяться до проблем оптимального геометричного проектування. Такі дослідження є актуальними і їх результати постійно зростають як з чисто теоретичної так і з практичної сторони [2–5]. У таких дослідженнях дуже важливу роль відіграє так званий коефіцієнт корисного наповнення однієї геометричної структури множиною інших об'єктів. Як правило, головна задача таких досліджень полягає у збільшенні числового значення такого коефіцієнта з одного боку та його безпосередня оцінка в тій чи іншій математичній моделі, що досліджується [6–9]. Результати таких досліджень мають достатньо широкий спектр можливих застосувань: це і проблематика максимального наповнення ємкостей різної геометричної форми в аграрному секторі економіки, машинобудуванні, в медицині, зокрема, в фармакології, в легкій, меблевій галузях тощо. Основою таких задач та їх вирішення є визначення оптимального розташування скінченної множини геометричних об'єктів у рамках певних геометричних структур.

Отже, наукоємне дослідження та моделювання технологічних процесів наповнення геометричних структур робочих органів бункерного типу сільськогосподарських машин матеріалами сферичної форми є актуальною проблемою, котра потребує теоретичного та практичного розв'язання. Це характерно для багатьох галузей агропромислового виробництва. Так, перед садоводами країни поставлено великі завдання, це, перш за все, завдання з використання і впровадження досягнень науки і передового досвіду механізації важливих технологічних процесів у польовому землеробстві та садівництві, організації своєчасного збору, транспортування, зберігання, обробки і реалізації плодів. Умовам підвищення інтенсивності робіт, збору плодів відповідає удосконалення агрегату ВУК-3. Варто зазначити, що світове сільськогосподарське машинобудування йде шляхами заміни механічних передач приводів на гідравлічні, які більш економічні, мають



високий ККД, витриваліші до зношування. Важливо, щоб коефіцієнт об'ємного максимального наповнення геометричних структур робочих органів бункерного типу сільськогосподарських машин матеріалами сферичної форми був менший порівняно з тим же коефіцієнтом плоского наповнення відповідної кругової структури. Пропонується для досліджуваного агрегату використовувати гідропривід для ланцюгового транспортера і віброустановки. Розв'язуванню проблемних питань моделювання технологічних процесів наповнення геометричних структур робочих органів бункерного типу сільськогосподарських машин матеріалами сферичної форми присвячено низку відомих наукових праць вчених і науково-технічних працівників Китаю, Японії, Ізраїлю, Німеччини, США, України, Сербії та інших країн світу. Математично-аналітичний апарат і надалі потребує розвитку та вивчення як у навчальному процесі так і в професійній практиці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Конкурентоспроможне проектування технологічних процесів і конструювання машин на етапі розробки теоретичних передумов до оптимізації параметрів процесу моделювання технологічних процесів наповнення геометричних структур робочих органів бункерного типу сільськогосподарських машин матеріалами сферичної форми можливе за умови освоєння і володіння знаннями загальнотеоретичних дисциплін. Так у навчальному посібнику [10], «Вища математика в прикладах і задачах», авторами Дубчаком В. М., Пришляком В. М. і Новіцькою Л. І. подано перелік типових практичних завдань, у кожному з яких пропонується 100 незалежних варіантів, з метою організації самостійних, розрахунково-графічних робіт [11].

У частині I «Основ інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість» [11], описано основні положення дисципліни «Механіка матеріалів і конструкцій»: наведена класифікація сил залежно від способу їх прикладання, розглянуто метод перерізів при визначенні внутрішніх силових факторів, розроблено реальну конструкцію та її розрахункову схему; наведено алгоритм побудови епюр внутрішніх силових факторів від простих елементів конструкцій – побудова епюр нормальних сил для прямолінійних стержнів, побудова епюр крутних моментів для прямолінійних брусів, побудова епюр поперечних сил і згинальних моментів для прямолінійних брусів, особливості деформацій згину, визначення напрямків і величин опорних реакцій балок, визначення внутрішніх силових факторів у поперечних перерізах балок,

визначено диференціальні залежності між згинальним моментом та інтенсивністю рівномірно розподіленого навантаження в перерізах балок, наведено приклади побудови епюр згинальних моментів і поперечних сил при плоскому поперечному згині, основні закономірності контролю правильності побудови епюр згинальних моментів і поперечних сил, також наведено алгоритм побудови епюр внутрішніх силових факторів для плоских і просторових рамних конструкцій тощо.

Книга 2, частина III «Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість» частина III [12] – це суттєво доповнений матеріал до [11]. В частині III [12] розглянуто статично невизначені системи при розтягу (стиску), при крученні, при згині (теорема Кастільяно, інтеграл Максвелло-Мора, спосіб Верещагіна), розрахунок тонкостінних осесиметричних посудин (рівняння Лапласа, теорема про проекцію на задану вісь сил тиску, універсальні формули для визначення осьового і колового напружень для осесиметричних посудин тощо. У [13] представлено змінні Лагранжа і Ейлера, інтеграли Бернуллі і Лагранжа, теорія згину Кірхгова-Лява, застосування теорії Флюке до вивчення явища поширення хвиль вздовж шарнірно закріпленої балки, метод скінчених елементів у задачах стаціонарних коливань оболонок тощо.

Питання оптимізації конструкцій технічних систем розглянуто авторами Ю.В. Човнюком, В.М. Пришляком, Л.С. Шимко, С.П. Приходьком в [14]. Технології і машини з оптимальними параметрами найбільшою мірою відповідають вимогам точного землеробства.

Прикладні задачі механіки, котрі можна застосувати під час проектування машин агропромислового виробництва, розглянуто А.Г. Куценко, М.М. Бондар, В.М. Пришляком, Л.С. Шимко в [15]. Розв'язування прикладних задач є корисним як на етапі підготовки агроінженерних фахівців до професійної діяльності, так і в процесі проектування технічних засобів механізації.

Подальші загальнотеоретичні та методологічні підходи набули свого розвитку в працях [16 - 19].

Авторами Возняком О.М., Штуцем А.А., Замрієм М.А. розроблено контролер, призначений для лінійного переміщення рухомих органів виконавчих механізмів для вібраційних машин [17].

Авторами Цурканом О.В., Полєводою Ю.А., Присяжнюком Д.В. розроблено озонатор для сушіння зернової сировини, де сушильним агентом є суміш підігрітого повітря у поєднанні з озоном певної концентрації [18].



Авторами Булгаковим В.М., Кувачовим В.П., Солоною О.В., Борисом М.М. побудовано графіки нормованих кореляційних функцій вертикальних коливань мостового агрозасобу при його русі по слідах постійної технологічної колії [19].

Мета досліджень. Метою даної роботи є встановлення оптимального наповнення певної зовнішньої геометричної структури скінченною множиною об'єктів тієї чи іншої геометричної форми, встановлення кількісної характеристики такого наповнення, введення до розгляду та обчислення коефіцієнта корисного максимального наповнення такої структури.

Результати досліджень. Розглянемо деякі прикладні задачі, що теоретично описують процеси і явища реального агропромислового виробництва.

Постановка задачі. Поставимо за мету розрахувати можливості максимального заповнення заданої геометричної фігури (як плоскої, так і об'ємної) множиною кругів (відповідно, куль) однакового радіуса r , а саме кількісну складову такого оптимального наповнення, а також сформулюємо деякий критерій оцінки такого максимального наповнення. Очевидно, такий критерій може бути обраний як відношення всієї корисної площі (об'єму) наповнення заданої геометричної структури до площі (об'єму) цієї заданої геометричної структури.

Результати досліджень. Для того, щоб зовнішня геометрична структура досягала свого максимального наповнення, будемо вимагати того, щоб лінійні розміри тієї чи іншої заданої геометричної структури були k кратними числовому значенню $d = 2r$ (d – діаметр). За цієї необхідної умови площа (об'єм) непродуктивних пустот зовнішньої геометричної структури мінімізується і відповідно наповнення такої структури досягатиме найбільших значень.

1. Якщо у плоскому випадку (тобто в двовимірному просторі – декартова система координат: X – абсциса, Y – ордината) у якості зовнішньої геометричної структури обирається прямокутник з розмірами сторін відповідно a та b , числові значення яких є кратними $2r$, тобто

$$\frac{a}{2r} = m, \quad \frac{b}{2r} = n, \quad (1)$$

де m, n – цілі числа, тоді кількісна величина оптимального (максимального) наповнення такої плоскої геометричної структури легко встановлюється і є рівною:

$$N = mn. \quad (2)$$

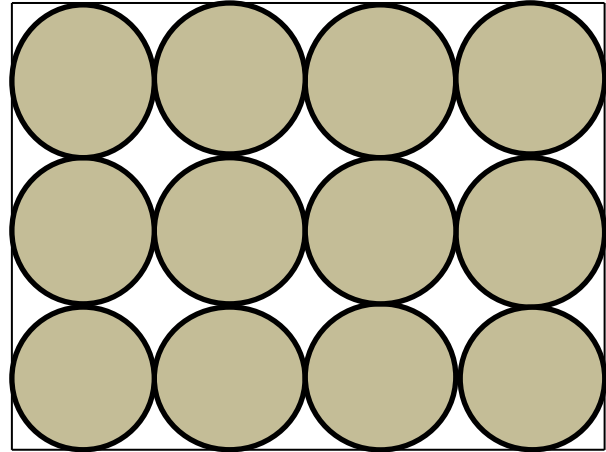


Рис. 1. Прямокутна структура, де $m = 4, n = 3$

Для прикладу такої простої структури (рис. 1) приведено структуру у вигляді прямокутника зі значеннями $m = 4, n = 3$. Тоді маємо $N = 12$. Тепер у даному прикладі встановимо ступінь (коефіцієнт) ефективності такого наповнення заданої структури як відношення сумарної площі всіх 12 кругів до площі заданої зовнішньої прямокутної структури. Маємо:

$$\xi = \frac{mn\pi r^2}{ab} 100\% = \frac{mn\pi r^2}{4mnr^2} 100\% = \frac{\pi}{4} 100\% = 78,5\% \quad (3)$$

Аналогом приведеної структури, але з переходом у тривимірний простір слугує прямий паралелепіпед, який максимально можливим чином заповнюється множиною куль фіксованого радіуса, при цьому лінійні розміри незалежних сторін паралелепіпеда задовольняють умовам:

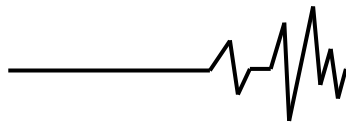
$$\frac{a}{m} = \frac{b}{n} = \frac{c}{k} = 2r, \quad (4)$$

де m, n, k – цілі числа,
 $2r$ – діаметр кожної кулі.

У цьому випадку максимально можлива для розміщення кількість таких куль всередині вказаного паралелепіпеда буде рівною:

$$N = mnk. \quad (5)$$

При цьому коефіцієнт корисного ефективного наповнення такої структури уже тривимірного простору визначатиметься як відношення сумарного корисного об'єму до об'єму зовнішнього паралелепіпеда. Узагальнюючи приклад, який приведено на рис. 1. на тривимірний простір (декартова система координат: ординати X, Y, Z) і вважаючи, наприклад, $k = 3$, отримаємо значення даного коефіцієнта:



$$\xi = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 mkn}{abc} 100\% = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 mkn}{8m n k r^3} 100\% = \frac{\pi}{6} 100\% = 52,3\%.$$

(6)

З результатів знаходження коефіцієнтів оптимального наповнення аналогічних плоскої та об'ємної приведених моделей можемо зробити висновок про те, що оптимальність по максимуму наповнення для плоскої моделі у 1,5 рази вища порівняно з аналогічною тривимірною моделлю. Наступний висновок стосується того, що числові значення відповідних коефіцієнтів корисного наповнення плоскої та об'ємної структур не залежать від лінійних розмірів самої зовнішньої геометричної структури.

2. У якості іншої зовнішньої геометричної структури у двовимірному просторі введемо до розгляду круг радіуса R , ($R > r$), тут r – значення фіксованого радіуса максимально можливої кількості внутрішніх кругів, які заповнюють площу зовнішньої структури великого круга. Будемо вважати, що

$$\frac{R}{r} = l, \tag{7}$$

де l – ціле число.

Як встановлено дослідженнями, даний пункт можемо надалі розбити на два підпункти залежно від парності–непарності значення l .

А) Нехай $l = 2k - 1$, k – ціле число. Випадок так званої парної моделі. Приклад такої конкретної структури $k = 3$ ($l = 5$) приведено на рис. 2.

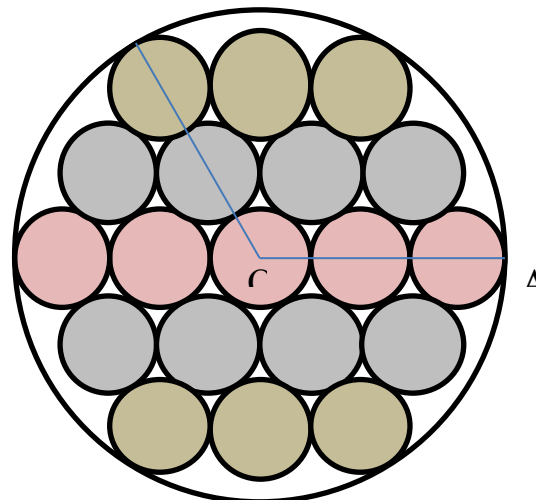


Рис. 2. Приклад плоскої зовнішньої кругової структури радіуса R , максимально заповненої множиною кругів фіксованого радіуса r , $R > r$ у випадку, коли $\frac{R}{r}$ – непарне число ($\frac{R}{r} = 5$)

Результатами досліджень встановлено залежність максимально можливої кількості малих кругів всередині зовнішньої кругової структури і дана залежність визначається формулою наступного вигляду:

$$N(R = (2k - 1)r) = 2k - 1 + 2 \sum_{i=1}^{k-1} (2k - 1 - i), k = 2, 3, 4, \dots \tag{8}$$

Дана формула при великих значеннях k не є особливо зручною, тому пропонується згорнутий, більш доцільний її варіант, який має наступний вигляд

$$N(R = (2k - 1)r) = 3k^2 - 3k + 1, k = 2, 3, 4, \dots \tag{9}$$

Як ми бачимо, згідно останнього результату, значення числа N зростає у квадратичній, по відношенню до k , залежності.

Використавши приведений результат (9), можемо легко встановити максимально можливу кількість малих кругів для наповнення великого круга на рис. 2:

$$N(R = 5r) = 27 - 9 + 1 = 19. \tag{10}$$

Встановлену залежність числа N від значення цілого k можемо також встановити за допомогою табл. 1.

Таблиця 1.

Залежність максимально можливої кількості малих кругів від значення цілого k , які розташовані всередині великого круга згідно результату формули (8) та (9)

k	2	3	4	5	6
Кількість кругів N радіуса r залежно від значення k ($R=(2k-1)r$)	7	19	37	61	91

Б) Нехай $l = 2k$, k – ціле число. Це такої конкретної структури $k = 3$ ($l = 6$) випадок так званої парної моделі. Приклад приведено на рис. 3.



У такому випадку залежність максимально можливої кількості малих кругів всередині зовнішньої кругової структури визначається формулою вигляду:

$$N(R = 2kr) = 2k + 2 \sum_{i=1}^{k-1} (2k - i), k = 2, 3, 4, \dots \quad (11)$$

Як і в попередньому підпункті, особливо при великих значеннях цілого числа k дана формула може бути спрощена до вигляду:

$$N(R = 2kr) = 3k^2 - k, k = 2, 3, 4, \dots \quad (12)$$

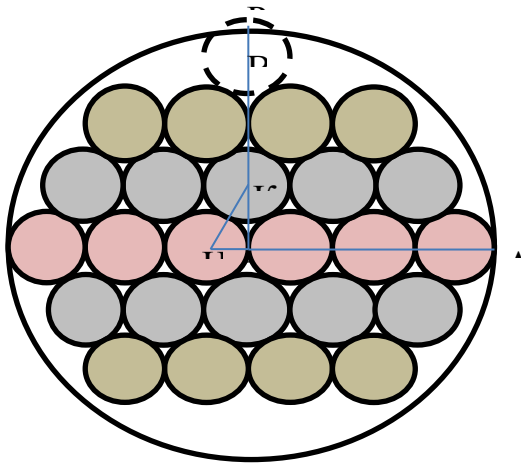


Рис. 3. Приклад плоскої зовнішньої кругової структури радіуса R , максимально заповненої множиною кругів фіксованого радіуса $r, R > r$ у випадку, коли $\frac{R}{r}$ – парне число ($\frac{R}{r} = 6$).

Виходячи з результату (12), спостерігаємо аналогічну квадратичну залежність між значеннями N та k .

Встановлена залежність аналогічним чином може бути інтерпретованою у вигляді табл. 2.

Як зауваження до підпункту Б) відмітимо, що візуально можливо складається враження щодо розміщення ще кількох додаткових кругів, один з можливих яких на рис. 3 позначено пунктиром. Але дослідженнями встановлено неможливість такого додаткового розміщення, оскільки

$$OA = 6r, OP = 3OK + OH = 3\sqrt{3}r + r = (3\sqrt{3} + 1)r \approx 6,1r > 6r \quad (13)$$

Виконання останньої нерівності математично строго доводить факт того, що присутність на рис. 3 позначеного пунктиром додатково можливого круга насправді є неможливою.

Тепер зупинимось на питанні встановлення величини коефіцієнта ефективного (максимального) наповнення такої зовнішньої кругової структури. Для непарної моделі маємо наступну оцінку стосовно даного коефіцієнта:

$$\xi_{\text{неп}} = \xi(R = (2k - 1)r) = \frac{N(R=(2k-1)r) \pi r^2}{\pi R^2} 100\% = \frac{N(R=(2k-1)r) \pi r^2}{\pi r^2 (2k-1)^2} 100\% = \frac{3k^2 - 3k + 1}{(2k-1)^2} 100\% \approx 75\% \quad (14)$$

Таблиця 2.

Залежність максимально можливої кількості малих кругів від значення цілого k , які розташовані всередині великого круга згідно результату формул (11) та (12)

k	2	3	4	5	6
Кількість кругів N радіуса r в залежності від значення $k (R=2kr)$	10	24	44	70	102

Аналогічно для парної моделі:

$$\xi_{\text{п}} = \xi(R = 2kr) = \frac{N(R=2kr) \pi r^2}{\pi R^2} 100\% = \frac{N(R=2kr) \pi r^2}{\pi r^2 (2k)^2} 100\% = \frac{3k^2 - k}{(2k)^2} 100\% \approx 75\% \quad (15)$$

Як бачимо, асимптотично значення приведених коефіцієнтів збігаються по суті одного сталого значення, рівного 75%.

На основі принципів розрахунку зовнішньої кругової структури можемо надалі у тривимірному просторі ввести до розгляду циліндричну зовнішню геометричну структуру з параметрами R – радіус кола основи та

H – висота. При цьому вважатимемо величину H теж кратною $2r$,

де r – фіксований радіус кожної з кульок, якими можливо максимально заповнити об'єм циліндра.

$$\text{Якщо } \frac{H}{2r} = p,$$

де p – ціле число, тоді стосовно максимально можливої кількості малих кульок, які можуть бути розміщені всередині циліндра, отримаємо:

$$Q = Np. \quad (16)$$

При цьому коефіцієнт максимального корисного наповнення такої об'ємної структури визначається як



$$\xi = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 Q}{\pi R^2 H} 100\% = \frac{4}{3} \frac{r^3 N p}{(2k-1)^2 r^2 2pr} 100\% = \frac{2}{3} \frac{3k^2 - 3k + 1}{(2k-1)^2} 100\% \approx 50\% \quad (17)$$

Таким чином стосовно розглянутої зовнішньої кругової структури маємо аналогічну схожість, а саме, коефіцієнт об'ємного максимального наповнення в 1,5 рази менший порівняно з тим же коефіцієнтом плоского наповнення відповідної кругової структури.

Обґрунтуємо технологічні параметри насінневих ящиків і банок посівних і садильних машин. Насамперед вивчаємо механіко-технологічні властивості посівного і садильного матеріалів [20].

Робочий об'єм місткості для насіння визначають за формулою

$$V_m = l_e b_p Q_{max} / (10^4 \rho \eta_m), \quad (18)$$

де V_m – робочий об'єм місткості, м³;

l_e – довжина гону від однієї заправки до іншої, м;

b_p – ширина захвату сівалки, м;

Q_{max} – максимальна норма висіву насіння, кг/га; (пшениця – 160...250, жито – 125...190, ячмінь – 125...190, овес – 110...200, гречка – 60...100, просо – 16...32, льон – 100...130 кг/га [20];

ρ – насипна маса насіння, кг/м³; (пшениця – 730...850, жито – 680...750,

ячмінь – 580...700, овес – 400...550, гречка – 560...650, просо – 680...780, льон – 580...680 кг/м³ [20]);

η_m – коефіцієнт використання місткості бункера; $\eta_m = 0,85...0,90$ [21].

При проектуванні слід врахувати, що об'єм ящика залежить від: оптимально необхідного часу або шляху посівного агрегату між заправками; допустимої маси машини, яка визначатиметься міцністю її конструкції; стійкості посівного агрегату при начіплюванні сівалки на трактор або вантажопідйомності її ходової системи; допустимого тягового опору сівалок при виборі трактора та режиму його роботи, що зростає зі збільшенням об'ємів бункерів та маси машини тощо.

Конструкційні параметри місткості для насіння вибирають та розраховують виходячи з компоновочної схеми (рис. 4).

Форма і висота бункера взаємозв'язані, оскільки в основному лише за рахунок розмірів площі торця бункера (рис. 4) можна знаходити його об'єм. При цьому довжина l бункера лімітується величиною міжряддя. Крім того, існують певні додаткові обмеження і за висотою h бункера. Так, його висоту слід вибирати, крім наведеного вище, ще й з умови дії сил інерції

повного бункера на місця його кріплення та машину в цілому, а також з умов зручності завантаження та очищення від посівного матеріалу.

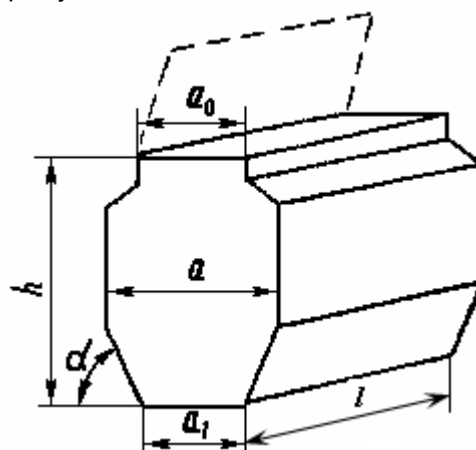


Рис. 4. Комбінована форма місткості для насіння:

l – довжина, м; h – висота, м; a – ширина основної частини, м; a_0 – ширина горловини, м; a_1 – ширина основи, м; α – кут нахилу стінок нижньої частини місткості, град.

Виходячи з вище сказаного, довжину ящика l визначають за формулою

$$l = a(n + 1), \quad (19)$$

де a – ширина міжрядь, м; для сімейства сівалок СЗ-3,6А, СЗ-5,4, СЗ-10,8 – $a = 0,15$ м; для сімейства сівалок СПУ-3, СПУ-4, СПУ-6 – $a = 0,125$ м;

n – кількість сошників; для сівалки СЗ-3,6А – $n = 3,6 : 0,15 = 24$; для сівалки СЗ-5,4 – $n = 5,4 : 0,15 = 36$; для сівалки СПУ-4 – $n = 4 : 0,125 = 32$, і тому подібне.

При відомому об'ємі ящика та його довжині визначають площу його бокової стінки.

$$F = V_m / l. \quad (20)$$

Геометрично, площа бокової стінки ящика рівна сумі чотирьох складових, які визначаються як площі геометричних фігур (рис. 5).

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4, \quad (21)$$

де F_1 – площа бокової стінки горловини ящика, м²;

F_2 – площа бокової стінки трапецієподібного розширення верхньої частини ящика, м²;

F_3 – площа бокової стінки основної частини ящика, м²;

F_4 – площа бокової стінки трапецієподібного звуження нижньої частини ящика, м².

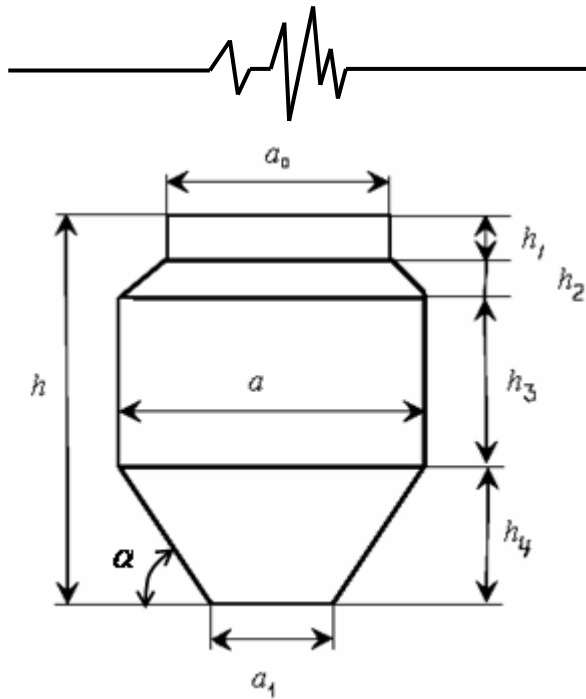


Рис. 5. Розрахункова схема бокової стінки ящика

Площу бокової стінки горловини ящика визначають за формулою [21]

$$F_1 = a_0 h_1, \quad (22)$$

де h_1 – висота горловини ящика, м.

Площу бокової стінки трапецієподібного розширення верхньої частини ящика визначають за формулою

$$F_2 = h_2 (a_0 + a) / 2, \quad (23)$$

де h_2 – висота бокової стінки трапецієподібного розширення верхньої частини ящика, м.

Площу бокової стінки основної частини ящика визначають за формулою

$$F_3 = a h_3, \quad (24)$$

де h_3 – висота бокової стінки основної частини ящика, м.

Площу бокової стінки трапецієподібного звуження нижньої частини ящика визначають за формулою

$$F_4 = h_4 (a_1 + a) / 2, \quad (25)$$

де h_4 – висота бокової стінки трапецієподібного звуження нижньої частини ящика, м.

Знаючи, на прикладі сівалки СЗТ-3,6 (рис. 6), розподіл площі бокової стінки ящика між чотирма складовими, можна прийняти аналогічний розподіл і для проєктованого ящика.



Рис. 6. Бокова стінка зернотукового бункера сівалки СЗТ-3,6

Аналітичній рівності $F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$, відповідає чисельна рівність $0,207 = 0,022 + 0,018 + 0,054 + 0,113$ (м²) та відповідно рівність у відносних одиницях $1 = 0,106 + 0,086 + 0,263 + 0,545$ та відсотках $100 = 10,6 + 8,6 + 26,3 + 54,5$ (%).

Нижні передні та задні стінки місткості встановлюють під кутом α до основи, що дорівнює подвоєному куту тертя φ посівного матеріалу по фарбованій металевій поверхні

$$\alpha = 2 \varphi. \quad (26)$$

Висоту нижніх передньої та задньої стінок місткості h_4 визначають за формулою

$$h_4 = (a - a_1) / 2 \operatorname{tg} \alpha. \quad (27)$$

Висоту горловини місткості h_1 визначають за формулою

$$h_1 = F_1 / a_0. \quad (28)$$

Висоту трапецієподібного розширення верхньої частини ящика визначають за формулою

$$h_2 = 2 F_2 / (a_0 + a). \quad (29)$$

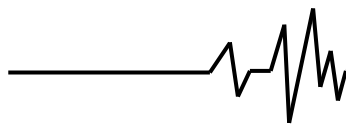
Висоту основної частини ящика визначають за формулою.

$$h_3 = F_3 / a. \quad (30)$$

Загальну висоту ящика визначають за формулою

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4. \quad (31)$$

Для зернових сівалок отвори в днищі ящика мають квадратну чи прямокутну форму, тому сторона квадратного отвору чи мінімальна сторона прямокутного отвору має бути не



меншою a_{om} , що визначають за формулою

$$a_{om} \geq 7,09 (bc)^{1/2}, \quad (32)$$

де b і c – поперечні розміри насінин.

Віброустановка, якою пропонується модернізувати контейнеровоз ВУК-3 для транспортування фруктів включає в себе гідромотор, котрий з'єднаний з валом, на якому знаходяться два балансири, гідравлічний замок для кріплення контейнера на віброплощадці, два гідроциліндри для підйому і штовхання контейнера. Експлуатація використання віброустановки передбачає цілу низку операцій: установку та зажим контейнерів, ущільнення, підйом на платформу та штовхання контейнерів. У новому варіанті залишається тільки установка і ущільнення. Необхідність в агрегаті знаходиться в рамках збору врожаю: серпень-листопад. Але він може використовуватись і для внутрішньогосподарських перевезень в інший час.

Нині багато господарств в Україні діють на основі повного господарювання. Основна мета діяльності господарств – виробництво сільськогосподарської продукції, її переробка і реалізація, інші види господарської діяльності скеровано на задоволення потреб як представників господарства так і всього населення України та отримання прибутку. Важливо, щоб господарства мали добрі сполучення з усіма центрами задачі сільськогосподарської продукції, що знаходяться в районних та в обласному містах, а також добрі зв'язки не тільки з ринками збуту продукції, але з ринками постачання необхідних сільськогосподарських матеріалів: посівного матеріалу, добрив, отрутохімікатів, техніки, палива та інше. Господарства спеціалізуються в основному на виробництві зерна та продукції плідництва (яблук) в рослинництві, тваринництво займає незначну частку продукції.

Природно-кліматичні умови Подільської рівнини в районі розташування господарств можна характеризувати на основі метеорологічних даних. Середньорічна температура повітря становить 10° . Найхолодніший місяць року – січень, коли найнижча температура може сягати позначки – $30-33^{\circ}$. Найвища температура припадає на липень-серпень, і становить $+37^{\circ}$. Вегетаційний період у році для рослин триває 190 днів. Весна починається, найчастіше, в третій декаді лютого і триває до кінця першої половини травня. Характерним для цієї пори року є весняні заморозки. Останні весняні заморозки спостерігалися в період від другого до двадцятого травня. Літо розпочинається з другої половини травня і продовжується до кінця вересня. Найтепліший місяць даного періоду – липень, на протязі якого середня температура становить $21,6^{\circ}$. Осінь тривала, як правило, дощова і

продовжується до другої половини грудня. Перші заморозки вже можна спостерігати в жовтні місяці. Середньорічна кількість атмосферних опадів складає 639 мм. Оподи на протязі року розділяються нерівномірно, найбільша їх кількість випадає літом, а найменша зимою – 20 - 22 % від річної норми. Ґрунтовий покрив рівнини є досить одноманітний. Основою є чорноземи та дерново-опідзолені ґрунти. Крайшими ґрунтами в господарствах є глибоко-дерново-опідзолено-глеюваті та дерново-опідзолено-глеюваті пісчано-середньосуглинкові, що придатні для вирощування плодівих культур, в тому числі і яблук.

Необхідно звернути увагу на процес збирання яблук, який у господарствах виконують переважно вручну. Для механізації процесу збирання доцільно використати плодозбиральну машину МПУ-1А та контейнеровоз ВУК-3А для транспортування яблук. На збирання плодів припадає основна частка затрат праці – 40 – 60 % від загальних. У господарств немає засобів для механізації процесів збирання, що підвищує собівартість зібраної продукції. Інтенсивна технологія вирощування сільськогосподарських культур – це машинна технологія виробництва продукту запланованої врожайності, котра поєднує застосування сучасної високопродуктивної техніки з найновішими агротехнічними прийомами і за своїм змістом наближається до промислового виробництва.

Затрати праці визначаються за формулою:

$$Z_{np} = \frac{L}{W_{зм}} \quad (33)$$

де L – кількість обслуговуючого персоналу;

$W_{зм}$ – виробіток за годину змінного часу.

Затрати праці при існуючому способі:

$$\frac{4}{2,11} = 1,89 \frac{\text{люд} / \text{год}}{t} \quad (34)$$

Затрати праці з використанням нової машини ВУК-3

$$\frac{2}{1,95} = 1,02 \frac{\text{люд} / \text{год}}{t} \quad (35)$$

Ріст продуктивності праці

$$1,89 / 1,02 = 1,85 \text{ рази} \quad (36)$$

Ступінь зниження прямих втрат

$$\frac{858 - 610,4}{858} \cdot 100 = 31,2\% \quad (37)$$

Машина-контейнеровіз з ланцюговим приводом і віброплощадкою служить для навантаження в контейнери плодів та томатів, їх ущільнення, вивозу із міжрядь, транспортування і вивантаження контейнерів. Агрегат може



використовуватись для транспортування порожньої тари (контейнерів). Агрегат повинен суміщати властивості віброплощадки і агрегату для навантаження і транспортування плодів в контейнерах ВУК-3, з використанням усіх існуючих конструкцій розміром 1200*800*600. Агрегат може використовуватись у всіх зонах промислового садівництва і овочівництва на трактородоступних площах. Час проведення робіт липень–листопад.

Агрегат повинен мати такі показники: підвищення продуктивності праці:

- ступінь зниження прямих витрат – 31,2 %;
- ступінь ущільнення плодів – 5,7%;
- зберігання сортності плодів – 98,4%.

Формулювання вимог технічного завдання на проектування машини. Агрегат для ущільнення плодів в контейнерах на місці збору і вивозу їх із міхрядь КЦП–3 призначається для ущільнення плодів в контейнерах безпосередньо на місці збору з метою зменшення їх ушкодження при транспортуванні і кращого використання ємності контейнера. Агрегат агрегується з тракторами класу 1,4 – 2 і представляє собою причіпний пристрій, що включає раму, ходову частину, віброплощадку, завантажний пристрій, гідросистему, сигналізацію і тормозну систему. Витрата пального системи МТЗ–80+КЦП–3 = 2,5-3 л/т. Строк служби – не менше 8 років, середньозмінний час ТО – не більше 0,4 год. Коефіцієнт технологічного обслуговування – не менше 0,85.

Формування вимог технічного завдання на проектувану машину. До роботи на агрегат ВУК–3 допускаються тракторист-машиніст, який має посвідчення тракториста і особа, що пройшла інструкцію з техніки безпеки.

При транспортуванні агрегату буксиром повинні дотримуватись правил дорожнього руху. Категорично забороняється:

- 1) використовувати агрегат для перевозки людей;
- 2) вмикати в роботу механізми без команд оператора;
- 3) проводити будь-який ремонт або обслуговування під час руху;
- 4) відчіплювати навантажений агрегат від трактора;
- 5) підйом вантажу на похилій місцевості на висоту більше 600 м;
- 6) працювати без підключення гальмівної і сигнальної систем.

Внутрішньогосподарський план користування технічними засобами господарства складають одночасно з виробничим планом.

Висновки. У результаті проведення наукових досліджень:

– розглянуто випадки максимального наповнення плоских та тривимірних геометричних структур скінченною множиною геометричних

об'єктів, встановлено кількісну міру кожного із приведених наповнень;

– введено до розгляду коефіцієнт такого корисного наповнення відповідної геометричної структури як у двовимірному так і тривимірному просторах, зроблено оцінку обчислення такого коефіцієнта;

– проведено порівняльний аналіз таких коефіцієнтів для плоского та об'ємного випадків вирішення поставленої в даній роботі проблеми.

Список використаної літератури

1. Войтюк В.Д., Бондар С.М., Шимко Л.С., Пришляк В.М. Управління технологічними процесами у рослинництві : підручник для вищих навчальних закладів зі спеціальності агроінженерія. Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект Поліграф», 2016. 676 с.
2. Безугла Ю.С. Геометричне моделювання розміщення неорієнтованих об'єктів з кусочно-нелінійними границями у багатозв'язних областях. Дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Національний університет цивільного захисту України. Харків. 2016. 183 с.
3. Ванін В.В. Комп'ютерне геометричне моделювання як існуюча основа автоматизованого проектування об'єктів машинобудування. Сучасні проблеми моделювання. Вип. 2. 2014. 22-25.
4. Пилипака С.Ф. Конструювання сферичних кривих у функції натурального параметра. Біоресурси та природовикористання. Т.5. № 3-4. 2013. 57-62.
5. Корчинський В.М. Класифікація геометричних форм об'єктів на багатоспектрових растрових зображеннях. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ. Вип. 88. 2011. 116-120.
6. Чуб І.А., Новожилова М.В., Андронов В.А. Моделювання прикладних оптимізаційних задач розміщення об'єктів з метричними характеристиками, що змінюються. Харків. НУЦЗ України. 2017. 167 с.
7. Чуб І.А. Формалізація умов взаємного неперетину об'єктів задачі розміщення багатокутників в анізотропній області в полярній системі координат. Системи обробки інформації. Вип. 1 (82). 2010. 196-199.
8. Lodi A. Two-dimensional packing problems: a survey. European Journal of Operational Research. 2002. Vol. 141. P. 241-252.
9. Шилов Г.Е. Математический анализ. Конечномерные линейные пространства. Москва : Наука, 1969. 432 с.
10. Дубчак В.М., Пришляк В.М., Новицька Л.І. Вища математика в прикладах та задачах : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2018. 254 с.
11. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч.І, ІІ: Підручник / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М.



Швайко, В. М. Пришляк та ін.; за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. Київ: Хай Тек-Прес, 2011. 616 с.

12. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч.III: Підручник / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко, В. М. Пришляк та ін.; за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. К.: Хай Тек-Прес, 2013. 528 с.

13. Куценко А. Г., Бондар С. М., Пришляк В. М. Біомеханіка суцільних середовищ : монографія. Київ : НУБіП України, 2014. 512 с.

14. Оптимізація конструкцій технічних систем : навч. посіб. / Човнюк Ю. В., Пришляк В. М., Шимко Л. С., Приходько С. П. Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект Поліграф», 2016. 464 с.

15. Прикладна механіка в прикладах та задачах : підручник / Куценко А.Г., Бондар М.М., Пришляк В.М., Шимко Л.С. Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект Поліграф», 2015. 804 с.

16. Машини та обладнання в сільськогосподарській меліорації : підручник / Калетнік Г. М., Чаусов М. Г., Бондар М. М., Пришляк В. М. та ін.; за ред. Г. М. Калетніка та М. Г. Чаусова. Київ : Хай-Тек Прес, 2011. 488 с.

17. Возняк О.М., Штуць А.А., Замрій М.А. Розробка мікропроцесорного контролера для вимірювання лінійного переміщення рухомих органів виконавчих механізмів вібраційних машин. *Вібрація в техніці та технологіях*. 2021. №2 (101). 71-84.

18. Цуркан О.В., Полевода Ю.А., Присяжнюк Д.В. Розробка та дослідження висопродуктивного електронного пристрою для синтезу озону у вібраційній сушарці. *Вібрація в техніці та технологіях*. 2021. №3 (102). 15-23.

19. Булгаков В.М., Кувачов В.П., Солоня О.В., Борис М.М. Експериментальне дослідження інтенсивності коливань сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів. *Вібрація в техніці та технологіях*. 2021. №3 (102). 24-33.

20. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.; За ред. С.С. Яцуна. К.: Мета, 2003. 448 с.

21. Технологічні основи проектування та виготовлення посівних машин: монографія / Б.М. Гевко, О.Л. Лящук, Ю.Ф. Павельчук, В.М. Пришляк та ін. Тернопіль : Вид. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 238 с.

References

1. Voytiuk, V. D, Bondar, S. M, Shimko, L. S, Pryshlyak, V. M. (2016). *Upravlinnyia tekhnolohichnyiu protsesamy u roslynnytstvi : pidruchnyk dlya vyshchykh navchal'nykh zakladiv zi spetsial'nosti ahroinzheneriyi //* [Management of technological processes in crop production: a textbook for higher educational institutions in the field of agroengineering for higher educational

institutions in the field of agroengineering. Nizhyn : Publishing House "Aspect Polygraph". 676 p. [in Ukrainian]

2. Bezugla, Yu.S. (2016). *Heometrychne modelyuvannya rozmishchennya neoriyentovanykh ob'ektiv z kusochno-neliniynymy hranytsyamy u bagatozv'yaznykhoblastyakh*. Natsional'nyy universytet tsyvil'nogo zakhystu Ukrainy [National University of Civil Defense of Ukraine]. Kharkiv. [in Ukrainian].

3. Ploskiy, V.O. (2011) *Systemna klasyfikatsiya MMR:ponyattya pro aktyvne vykorystannya* [System classification of MMP: the concept of active use]. *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika* [Applied geometry and engineering graphics], Kyiv, 87, 182-188, [In Ukrainian].

4. Vanin, V.V.(2014) *Komp'yuterne heometrychne modelyuvannya yak isnuyuucha osnova avtomatyzovanoho proekuvannya ob'ektiv mashynobuduvannya* [Computer geometric modeling as an existing basis for automated design of mechanical engineering objects]. *Suchasni problem modelyuvannya* [Modern problems of modeling], 2, 22-25, [In Ukrainian].

5. Korchynsky, V.M. (2011) *Klasyfikatsiya heometrychnykh form ob'ektiv na bagatospektrovykh rastrovykh zobrazhennyakh* [Classification of geometric shapes of objects on multispectral raster images]. *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika* [Applied geometry and engineering graphics], Kyiv, 88, 116-120,[In Ukrainian].

6. Chub, I.A, Novozhilova, M.V., Andronov, V.A. (2017) *Modeluvannya prykladnykh optymizatsiynykh zadach rozmishchennea ob'ektiv z metrychnymy kharakterystykamy, shcho zminyuuyt'sa* [Simulation of applied optimization problems of placement of objects with changing metric characteristics]. *NUTSZ Ukrainy*[NUTSZ of Ukraine], Kharkiv, [In Ukrainian].

7. Chub, I.A. (2010) *Formalizatsiya umov vzayemnogo neperetynu ob'ektiv zadachi rozmishchennya bagatokutnykiv v anizotropniy oblasti v polyarniy systemi koordynat* [Formalization of conditions of mutual non-intersection of objects of the problem of placement of polygons in the anisotropic region in the polar coordinate system. *Information processing systems*]. *Systemy obrobky informatsiyi* [Information processing systems],1(82), 196-199, [In Ukrainian].

8. Lodi, A. (2002) *Two-dimensional packing problems: a survey*. *European Journal of Operational Research* 141, 241-252, [In Italy].

9. Shilov, G. Ye. (1969). *Matematicheskyy analiz. Konechnomernyye lineynyye prostranstva* [Mathematical analysis. Finite-dimensional linear spaces]. Moscow: Nauka. [in Russian]

10. Dubchak, V.M., Pryshlyak, V.M., Novitskaya, L.I. (2018). *Vyshcha matematyka v*



prykladakh ta zadachakh [Higher Mathematics in Examples and Tasks]. Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian]

11. Kaletnik, G. M., Chausov, M. G., Shvayko, V. M., Pryshlyak, V. M. and others. (2011). *Osnovy inzhenernykh metodiv rozrakhunkiv na mitsnist' i zhorstkist'. CH.I, II: Pidruchnyk [Fundamentals of engineering methods of calculations for strength and rigidity. Ch.I, II: Textbook]. Kyiv : 616 [in Ukrainian]*

12. Kaletnik, G. M., Chausov, M. G., Shvayko, V. M., Pryshlyak, V. M. and others. (2013). *Osnovy inzhenernykh metodiv rozrakhunkiv na mitsnist' i zhorstkist'. CH.I, II: Pidruchnyk [Fundamentals of engineering methods of calculations for strength and rigidity. Ch.III: Textbook]. Kyiv : High Tech Press, 528 [in Ukrainian]*

14 Chovnyk, Yu.V., Pishlyak, V.M., Shymko, L.S., Prykhodko, S.P. (2016). *Optymizatsiya konstruksiy tekhnichnykh system [Optimization of designs of technical systems]. Nizhin: Aspect Polygraph Publishing House LLC. [in Ukrainian]*

15 Kutsenko, A.G., Bondar, M.M., Pishlyak, V.M., Shimko, L.S. (2015). *Prykladna mekhanika v prykladakh ta zadachakh: pidruchnyk [Applied mechanics in examples and tasks]. Nizhin: Aspect Polygraph Publishing House LLC. [in Ukrainian]*

16 Kutsenko, A.M., Bondar, M.M., Pryshliak, V.M. (2018). *Mechanics of materials: Theory and Problems. Kyiv: LLC "Center for Educational Literature". [in English]*

16 Kaletnik, G.M., Chausov, M.G., Bondar, M.M., Pryshlyak, V.M. and others. (2011). *Mashyny ta obladdnannya v sil'skohospodars'kiy melioratsiyi [Machines and equipment in agricultural land reclamation]. K.: High-tech Press. [in Ukrainian]*

17 Wozniak, O. M, Shtuts, A. A, Zamrii, M. A. (2021) *Rozrobka mikroprotsesornoho kontrolera dlya vymiryuvannya liniynoho peremishchennya rukhomykh orhaniv vykonavchykh mekhanizmiv vibratsiynykh mashyn. [Development of a microprocessor controller for measuring the linear movement of moving bodies of actuators of vibrating machines.]. Vibration in engineering and technology. 2021. №2 (101). 71-84. [in Ukrainian]*

18 Tsurkan, O. V, Polevoda, Y. A, Prysyzhnyuk, D. V. (2021) *Rozrobka ta doslidzhennya vysoproduktyvnoho elektronnoho prystroyu dlya syntezy ozonu u vibratsiyniy sushartsi. [Development and research of a high-performance electronic device for ozone synthesis in a vibrating dryer.]. Vibration in engineering and technology. 2021. №3 (102). 15-23. [in Ukrainian]*

19 Bulgakov, V. M, Kuvachov, V. P, Solona, O. V, Boris, M. M. *Eksperymental'ne doslidzhennya intensyvnosti kolyvan' sil'skohospodars'kykh mashynno-traktornykh ahrehativ. [Experimental study of the intensity of oscillations of agricultural machine-tractor unit] Vibration in engineering and technology. 2021. №3 (102). 24-33. [in Ukrainian]*

20 Tsarenko, O. M., Войтюк, Д.Г., Shvaiko V.M and others; or order. Yatsuna. S. S., Voytiuk, D. G/, 003). *Mekhaniko-tekhnohichni vlastyvoli sil'skohospodars'kykh materialiv Vyscha matematyka v prykladakh ta zadachakh [Mechanical and technological properties of agricultural materials]. K.: Meta, 2003. 448 s. [in Ukrainian]*

21 Gevko, B. M., Lyashchuk, O. L, Pavel'chuk, YU.F., Pryshlyak V.M. and others.. (2014). *Tekhnolohichni osnovy proektuvannya ta vyhotovlennya posivnykh mashyn: monohrafiya [Mechanical and technological properties of agricultural materials]. Ternopil: Ed. TNTU named after Ivan Pulyuy, 2014. 238 p. [in Ukrainian]*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАПОЛНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР РАБОЧИХ ОРГАНОВ БУНКЕРНОГО ТИПА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН МАТЕРИАЛАМИ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Оптимизация геометрических параметров бункеров, питателей сельскохозяйственных машин зависит от вида процесса, механико-технологических свойств материалов, технологий производства. Современные емкости бывают металлическими, пластмассовыми, стеклянными и др. Растущие требования в конкурентной рыночной среде обуславливают необходимость постоянного совершенствования существующих и создания новых машин с оптимальными параметрами рабочих органов. Различные сельскохозяйственные материалы, такие как песчаные почвы, зерно, минеральные удобрения, клубни, фрукты обладают разными свойствами сыпучести и взаимного перемещения частиц в виде тел сферической формы. В статье изложены усовершенствованные теоретические основы практического направления оптимального заполнения контейнеров сельскохозяйственными материалами.

В результате проведения исследований по моделированию технологических процессов наполнения геометрических структур рабочих органов материалами сферической формы, использование для этого фундаментального аналитико-математического аппарата, разработана алгоритмическая модель, описывающая оптимальное заполнение пространства, характерного для семенных ящиков, сеялок, бункеров уборочных комбайнов. Рассчитано максимальное заполнение заданной плоской и объемной геометрической фигуры множеством шаров одинакового радиуса, а именно, описана количественная составляющая такого оптимального наполнения, а также сформирован критерий



оценки такого наполнения зерном, корнеплодами, картофелем, фруктами и т.д.

Применение алгоритма математического анализа и расчета технологических процессов и технических систем обеспечивает создание необходимых условий для предотвращения травм семян. Кроме того, предложенные инновационные методы теоретического анализа и расчета процессов, а также явлений, характерных для агропромышленного производства, могут эффективно и качественно применяться в учебном процессе при подготовке специалистов к проектной деятельности.

Ключевые слова: моделирование, технологический процесс, заполнение геометрических структур, рабочие органы, материалы сферической формы.

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF FILLING THE GEOMETRIC STRUCTURES OF THE WORKING BODIES OF A BUNKER TYPE OF AGRICULTURAL MACHINES WITH MATERIALS OF A SPHERICAL SHAPE

Optimization of geometric parameters of bunkers, feeders of agricultural machines depends on the type of process, mechanical and technological properties of materials, production technologies. Modern containers can be metal, plastic or glass. Growing requirements in a competitive market environment necessitate the constant improvement of existing and the creation of new machines with optimal parameters of the working bodies. Various agricultural materials, such as sandy soils, grain, fertilizers, tubers, fruits have different properties of

flowability and mutual movement of particles in the form of spherical bodies. The article presents improved theoretical principles of practical orientation of optimal filling of containers with agricultural materials.

As a result of research on modeling of technological processes of filling geometric structures with working materials of spherical shape, using a fundamental analytical and mathematical apparatus, an algorithmic model that describes the optimal filling of space typical for seed boxes, harvesters or seeders has been developed. The maximum filling of a given flat and three-dimensional geometric figure by a set of balls of the same radius have been calculated, namely, the quantitative component of such optimal filling is described, and the criterion for estimating such filling is formed. Such processes occur during the production operation of seeders and planters, machines for harvesting and post-harvest processing of grain, root crops, fruits, etc.

The use of an algorithm for mathematical analysis and calculation of technological processes and technical systems provides the creation of the necessary conditions to prevent injury to seeds. In addition, innovative methods of theoretical analysis and calculation of processes, as well as phenomena characteristic of agro-industrial production have been proposed. These methods can be effectively applied in the educational process when preparing specialists for project activities.

Key words: modeling, technological process, filling of geometrical structures, working bodies, materials of spherical form.

Відомості про авторів

Дубчак Віктор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри математики, фізики та комп'ютерних технологій Вінницького національного аграрного університету (вул. Пирогова, 111/21, м. Вінниця, Україна, 21037, e-mail: viktor_dubchak@rambler.ru).

Пришляк Віктор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: viktor.prishlyak@i.ua).

Дубчак Віктор Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры математики, физики и компьютерных технологий Винницкого национального аграрного университета (ул. Пирогова, 111/21, Винница, Украина, 21037, e-mail: viktor_dubchak@rambler.ru).

Пришляк Виктор Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры агроинженерии и технического сервиса Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: viktor.prishlyak@i.ua).

Viktor Dubchak – Ph.D., Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Computer Technologies of Vinnitsa National Agrarian University (Pirogov St., 111/21, Vinnitsa, Ukraine, 21037, e-mail: viktor_dubchak@rambler.ru).

Viktor Prishlyak – PhD, Associate Professor of the Department of Agroengineering and technical service of Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: viktor.prishlyak@i.ua).